

# MÉTHODE DE DIAGNOSTIC ARCHÉOLOGIQUE SUBAQUATIQUE

## PROBLÉMATIQUES

### Problématique générale

Les eaux douces et notamment les cours d'eau, auxquels nous nous intéresserons ici, sont des milieux à potentiel archéologique certain où l'on rencontre des témoins naturels ou anthropiques de toutes les périodes depuis la Préhistoire jusqu'à aujourd'hui. Ces vestiges mobiliers ou immobiliers témoignent des activités humaines qui se sont déroulées sur l'eau ou à proximité et concernent de nombreux domaines.

La rivière a d'abord apporté un moyen de subsistance par le produit de la pêche et de la chasse. Les moyens mis en œuvre ont laissé des traces sous forme d'appareils (nasses, hameçons, filets et leurs poids,...) mais aussi de restes d'installations fixes (pêcheries, gords,...) et d'engins flottants (pirogues, barques, viviers). La proximité de cette ressource alimentaire, alliée à des considérations de sécurité, a même parfois motivé l'implantation d'habitats dans le lit mineur, notamment aux périodes protohistoriques.

La rivière constitue aussi un obstacle aux déplacements auquel on a pallié par divers moyens de franchissement. Le plus simple est le gué, zone de haut-fond aménagée ou non, où une hauteur d'eau raisonnable (quelques décimètres) permettait le passage à pied, à dos d'animal ou en véhicule. Le gué n'étant généralement praticable qu'à l'étiage, on a utilisé des embarcations qui se sont spécialisées sous forme de bacs puis construit des ponts dont on peut trouver des vestiges. Les gués, quant à eux, livrent de nombreux documents matériels, notamment cultuels.

La rivière est également un moyen de transport idéal pour le déplacement de per-

sonnes et de marchandises. On en trouve les traces sous forme d'épaves et de leurs cargaisons, d'appareils de navigation (ancres, gaffes,...), d'installations portuaires. On remarque aussi des aménagements destinés à améliorer la navigabilité dont les plus perfectionnés (barrages éclusés) sont relativement récents (XIX<sup>e</sup> siècle) mais dont les états primitifs méritent une certaine attention dans le cadre de l'archéologie industrielle.

L'énergie de l'eau courante des rivières est exploitée depuis l'antiquité pour entraîner des machines mécaniques aux fonctions variées : mouture des céréales ou du tan, métallurgie, foulage du drap, frappe de la monnaie, pompage de l'eau, halage, etc. Les installations sont flottantes (moulins-bateaux) ou implantées dans le lit avec roue fixe ou pendue pour suivre les variations du niveau de l'eau.

L'eau constituant une protection idéale contre les dégradations naturelles ou anthropiques (nonobstant le cas des dragages), on peut s'attendre à mettre au jour des éléments significatifs de cette proximité plusieurs fois millénaire de l'homme et de la rivière d'autant plus que tout est concentré sur une surface relativement restreinte (Seine de Paris à Montereau : environ 14 km<sup>2</sup>) et qu'il y a déjà eu de nombreuses trouvailles en dragages.

L'objectif de l'archéologue est de localiser des sites afin de les étudier et d'assurer leur sauvegarde. Ce dernier point est une des missions des services de l'État notamment dans les régions à forte urbanisation où les travaux sont souvent destructeurs. Le domaine subaquatique étant sensible mais peu exploré, il convient d'enrichir rapidement la carte archéologique avec des données nouvelles.

## Problématique de terrain

Il s'agit de localiser des sites qui sont masqués à la vue par une épaisse couche d'eau. La recherche met en œuvre la méthode de prospection qui consiste, comme en terrestre, à parcourir la surface à explorer.

La présence d'une zone archéologique immergée se manifeste par des indices divers : objets (en place ou roulés), structures dépassant du fond (pieux, quais, levées), reliefs anormaux de plus ou moins grande amplitude (gués, fosses) ou par la nature du fond.

La prospection visuelle en plongée au hasard dans les grands cours d'eau donne des résultats mais au prix d'une dépense de temps et d'énergie considérable. Elle peut être rationalisée par la prélocalisation directe ou approximative des sites que peut apporter l'exploitation des archives, de la bibliographie et de l'histoire. Cet aspect, que nous n'aborderons pas ici, pourrait faire l'objet de développements qui nous entraîneraient trop loin.

Des moyens conventionnels sont mis en œuvre pour réaliser les prospections. Ils sont fastidieux et peuvent être améliorés.

## MÉTHODOLOGIE

### Méthode conventionnelle et ses limites

La façon la plus sûre de repérer et d'identifier des indices archéologiques est de les observer directement. Le moyen conventionnel actuellement utilisé pour identifier des sites archéologiques immergés en rivière est donc la prospection à vue par plongée. Le plongeur se déplace en lacet sur une bande parallèle au courant en essayant de ne pas laisser de surface inexplorée. On couvre ainsi en moyenne une surface de 50 m par 50 m en une plongée (60 à 120 minutes).

Pour vérifier les indices, on réalise des sondages ponctuels à la suceuse hydrau-

lique qui permet de dégager les sédiments et des carottages qui rendent compte rapidement de la stratigraphie du sous-sol.

Les conditions de ce type d'intervention sont défavorables car la visibilité est très réduite et varie de 0 (eau très chargée) à quelques mètres (situation rarissime) avec fréquemment une valeur de 50 à 80 cm pour la Seine en amont de Paris. On conçoit donc qu'il est difficile d'avoir une vision globale des vestiges archéologiques et d'anomalies du relief révélatrices.

L'utilisation d'un éclairage artificiel est inutile car les particules en suspension diffractent la lumière et le remède est pire que le mal. Reste donc à assurer un quadrillage serré du fond ce qui prend un temps considérable sur un cours d'eau de 140 m de largeur, incompatible avec la disponibilité de l'équipe. L'exploration exhaustive de la Haute-Seine de Montereau à Paris (98 km) prendrait environ 80 ans à une équipe telle celle du GRAS<sup>1</sup>.

Pour mémoire, nous mentionnerons d'autres moyens de prospection qui donnent des résultats spectaculaires en mer mais aucun en rivière d'après des démonstrations auxquelles nous avons assisté. Deux moyens géophysiques, la magnétométrie et la résistivimétrie sont décevants à cause de la pollution métallique. Le sonar latéral qui devrait révéler des reliefs anormaux ne donne que des échos fantaisistes.

### Méthode développée sur la Haute-Seine

Nous avons donc cherché à améliorer la qualité et la productivité des prospections subaquatiques en gagnant du temps. Il s'agit de préparer les interventions subaquatiques en faisant appel aux ressources documentaires existantes, à un outil spécialisé de restitution du relief facile à mettre en

1. Groupement de Recherches Archéologiques Subaquatiques - 1, avenue Pierre Prost - 91800 Brunoy.

œuvre et à une analyse géomorphologique sommaire du sédiment de fond.

La méthode utilisée actuellement et qui est exposée ici est le fruit de 14 années d'expérience de recherches en rivières, acquise notamment sur la Haute-Seine depuis 1990 (de Paris à Montereau).

Le postulat retenu est que les vestiges archéologiques accessibles sont principalement situés dans le lit mineur et y sont restés. On les trouvera donc, à condition que ce lit soit intact.

Le lit de la Seine a été bouleversé par les dragages avec destruction (et aussi révélation) de vestiges archéologiques. L'érosion a aussi fait son œuvre, il y a très longtemps, à l'occasion de changements climatiques et plus récemment par la modification de l'état d'équilibre naturel due à la canalisation.

On sait aussi, par les observations faites depuis 1990, que les dommages sont loin d'être totaux et que de vastes surfaces sont intactes qui recèlent des vestiges. Il convient donc de concentrer l'activité sur ces surfaces et d'éliminer les autres du programme des prospections, ce qui réduira d'autant l'espace à explorer.

Ceci ne veut pas dire qu'il faille négliger certains secteurs qui ne livreront pas de documents « récents » mais peut-être d'autres, très anciens et profondément enfouis, épargnés par la drague.

Il s'agit donc de localiser rapidement les zones « détruites par les dragages » et par déduction, le reste *a priori* « potentiel ».

Le plongeur en prospection va évoluer sur le lit de la rivière. La qualité des observations faites et de leur interprétation passe par la connaissance préalable des informations suivantes qui caractérisent le lit mineur de la rivière dans ses états anciens précédant les interventions humaines :

- altitude du niveau d'étiage,
- position planimétrique des berges,
- altitude du fond naturel,
- présence d'un haut-fond (gué probable),

- présence probable d'installations anciennes.

En possession de ces données, il sera aisé de se prononcer quant à l'intégrité du lit : creusé, déplacé, remblayé ou intact (donc potentiellement archéologique), notamment en comparant l'altitude du lit actuel avec les niveaux de référence cités ci-dessus. L'état pourra être confirmé par observation de la nature du sédiment superficiel présent dans le lit.

La comparaison va porter sur deux aspects : dimension horizontale (planimétrie), dimension verticale (altitudes, profondeurs) et ceci en un point quelconque du cours.

### **Les sources et leur validité**

Les sources utilisables sont essentiellement des documents graphiques rarement antérieurs au XVIII<sup>e</sup> siècle. Les plus détaillés sont les documents administratifs, (cadastres,...) et ceux, plus techniques, des services chargés de l'aménagement des cours d'eau qui sont des modèles de précision. Certains écrits sont également utilisables (marchés de dragages indiquant des pieux à enlever,...).

Un document graphique fige l'image de la rivière dans l'espace et dans le temps à un instant donné. Comme un cours d'eau naturel évolue en permanence, il est évident que l'on ne peut pas extrapoler l'état de la rivière à cet instant, à des périodes antérieures indigentes en sources précises.

Néanmoins nous avons pris le parti de nous référer à l'état précédant la canalisation (1868) qui est représentatif d'un milieu préservé où les vestiges se sont accumulés. De plus, il se trouve que la documentation est abondante et de qualité car nous bénéficions des dossiers préliminaires aux grands aménagements fluviaux du Second Empire.

Pour la Haute-Seine, les documents suivants concernent essentiellement l'aspect

altitude et sont déjà suffisants pour établir un outil utilisable :

- profil en long de Montereau à Paris et ligne d'étiage de référence de 1840 (avant barrages) (chanoine, Delagrene 1868),
- cours de la Seine de Montereau à Paris en 1849 qui montre les berges, la ligne de thalweg ponctuée des profondeurs sous l'étiage en moyenne tous les 100 m, la position précise des gués avant la canalisation et le système de jalonnement longitudinal par bornes de navigation quadri-hectométriques,
- étude des gués à partir des cartes précédentes (Verdier de Pennery 1959),
- chenal de la Haute-Seine, 1970-1971.

Nous avons également exploité des profils en long relevés entre 1880 et aujourd'hui qui permettent d'analyser l'évolution du thalweg.

L'étude porte sur différents paramètres qui caractérisent la rivière : le niveau d'étiage (variable chaque année, celui de 1719, matérialisé au pont de la Tournelle à Paris, a longtemps servi de référence), la position du thalweg (ligne de plus grande pente reliant le point le plus profond de chaque section transversale) et la ligne des berges (contact eau-terre à l'étiage).

### **Cadre géographique**

Avant de continuer, définissons le cadre géographique dans lequel sont menées les recherches. La Seine prend sa source au mont Tasselot, sur le plateau de Langres, à 471 m d'altitude. Jusqu'à Marcilly, on la nomme Petite-Seine, puis Haute-Seine jusqu'au pont de la Tournelle à Paris ; ensuite Basse-Seine jusqu'à Rouen et enfin Seine-Maritime jusqu'à la mer où elle se jette après un parcours de 776 km. La Haute-Seine parcourt 189 km en passant de 68 à 26 m d'altitude.

Nous voyons aujourd'hui une Seine canalisée au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle par l'établissement de barrages (terminés en 1868),

le renforcement des berges et le creusement du chenal pour la navigation. Cet aspect entièrement artificiel n'a rien à voir avec l'état naturel que la documentation ancienne nous montre.

La rivière était confinée dans son lit mineur à l'étiage, parfois dominée par des berges hautes de plusieurs mètres taillées dans les terrains traversés, parfois s'étalant en marécages dans les zones basses. Des îles et îlots ponctuaient le lit dont les plus importants subsistent (Etiolles, Seine-Port, Melun, Samois,...), les autres étant submergés, dragués ou reliés aux berges.

Pendant les hautes eaux et les crues, les lits moyen et majeur étaient progressivement envahis jusqu'au débordement, seul état naturel encore observable actuellement lorsque les barrages sont submergés et ne peuvent plus contenir le flot. On a néanmoins une idée de l'encaissement de la rivière à l'état naturel en observant la rive gauche entre Port-à-l'Anglais et le pont d'Ivry où le niveau actuel de l'eau ne diffère que de quelques décimètres du niveau d'étiage.

L'aspect de la rivière devait être sensiblement différent pendant les périodes anciennes aux climats plus froids. Au boréal (IX-VIII<sup>e</sup> millénaires av. J.C.), par exemple, il faut imaginer un fond de vallée occupé par des chenaux tressés, en méandres et des bras morts, les reliefs émergés étant investis temporairement par les hommes. Le régime était sans doute plus rapide car on trouve des galets de type torrentiel dans les niveaux mésolithiques immergés.

La profondeur à l'étiage était faible sur les points hauts ou baissiers (0,5 à 0,6 m) et n'atteignait qu'exceptionnellement 2 m sur les mouilles (ou racles), alors qu'aujourd'hui elle est maintenue artificiellement entre 3,2 et 5 m.

Le niveau (avant canalisation) n'a pas beaucoup changé depuis au moins 9000 ans car des vestiges mésolithiques et

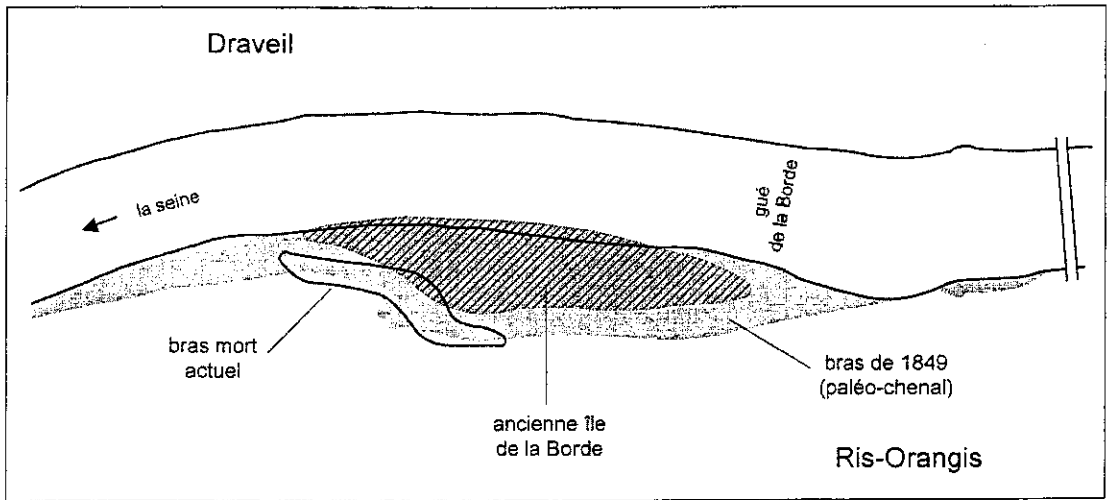


Fig. 1 : île de la Borde à Ris-Orangis (91) (réal. : GRAS).

antiques ont été trouvés en place dans des couches voisines du fond actuel lui-même proche de celui de 1849 identifié par des relevés des services de la navigation. Ceci est dû en partie à la géologie car le *bedrock* est en général présent à peu de profondeur sous le fond.

### Planimétrie

Pour les représentations en plan, il subsiste, en général, suffisamment de points caractéristiques au voisinage des berges pour assurer la corrélation avec l'état actuel, en partant de la cartographie planimétrique ancienne qui est en général suffisamment développée. Les comparaisons théoriques sont complétées par des informations géodésiques recueillies sur le terrain.

Nous n'avons pas encore synthétisé la planimétrie de toute la Haute-Seine. Les documents de travail sont établis et utilisés ponctuellement en fonction des interventions.

Pour positionner les anciennes berges par rapport à l'environnement actuel, on utilise un fond de plan récent du Service de la Navigation de la Seine au 1/5000 qui correspond aux barrages en retenue normale.

La superposition des cartes anciennes avec le fond de plan actuel met des différences en évidence.

On constate ainsi si la berge a reculé (par érosion ou par submersion de la grève en pente) ou avancé par comblement. D'anciennes îles peuvent être positionnées ; certaines sont d'ailleurs entièrement rattachées à la berge et on peut positionner l'emplacement de gués (fig. 1).

### Altimétrie

La connaissance de l'évolution du niveau de la rivière passe par l'analyse de documents où sont fournies des altitudes.

Signalons un point particulier important. Ces altitudes sont données par rapport à diverses références qu'il faut harmoniser pour faire une synthèse. En France, trois systèmes de nivellement se sont succédés : le système BOURDALOUE (1857-1884), le système ORTHOMETRIQUE ou NGF (Nivellement Général de France) ou LALLEMAND (1884-1969), le système NORMAL dit IGN69 (1969-aujourd'hui). Le zéro du système BOURDALOUE est à 0,68 m sous le zéro du système ORTHOMETRIQUE, Le zéro du système ORTHOMETRIQUE est à 0,33 m au dessus du zéro du système

IGN69. Ces écarts dépendent du lieu considéré et sont donnés pour la Seine en amont de Paris.

Ces différences bien qu'*a priori* minimales sont néanmoins sensibles et doivent être soigneusement prises en compte dans les études hydrauliques. Les cotes de nivellement lues sur les cartes devront donc être vérifiées et corrigées ainsi que les informations géodésiques recueillies sur le terrain à partir de repères (macarons).

En pratique sur le terrain, le niveau du bief constituera la référence. Il est horizontal sur toute son étendue (à quelques centimètres près) et son niveau est maintenu en dehors des crues à 2 décimètres près.

Dans l'état actuel de l'étude, les documents nous ont fourni les données suivantes pour la section Montereau - Paris (98 km) :

- profondeur du thalweg vers 1849 sous le niveau d'étiage conventionnel de 1840,
- altitude du niveau d'étiage conventionnel de 1840,
- altitude des plans d'eau des biefs actuels,
- localisation des gués et des haut-fonds recensés en 1849.

Chacun de ces paramètres est repéré longitudinalement par le système de bornage d'origine : espacement 400 m, origine au pont de Montereau. L'enregistrement des données a été faite sur informatique à l'aide d'un logiciel tableur dans lequel les informations suivantes ont été introduites pour chacun des 705 points de mesure couvrant une longueur de 98 km (Montereau - Paris) :

- position longitudinale dans le système quadri-hectométrique (A),
- altitude de l'étiage de 1840 (B),
- profondeur en 1849 sous le niveau d'étiage de 1840 (C),
- dénomination des gués (D),
- ouvrages remarquables (barrages éclusés et ponts) (E),
- altitude de chaque bief en 1998 (F).

L'exploitation est facilitée par les possibilités du logiciel qui permet de calculer automatiquement des cotes intéressantes par exemple :

- altitude du thalweg en 1849 (B-C),
- altitude du mouillage en 1998 (F-3,2 m),
- profondeur de l'étiage 1840 sous le bief 1998 (F-B),

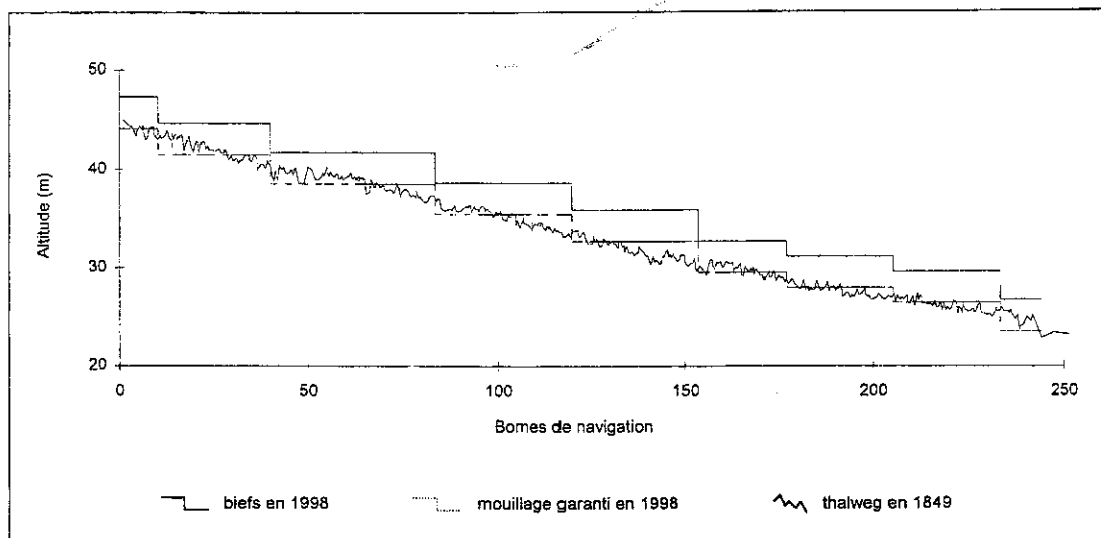


Fig. 2 : Profil en long de la Seine de Paris à Montereau (réal. : GRAS).

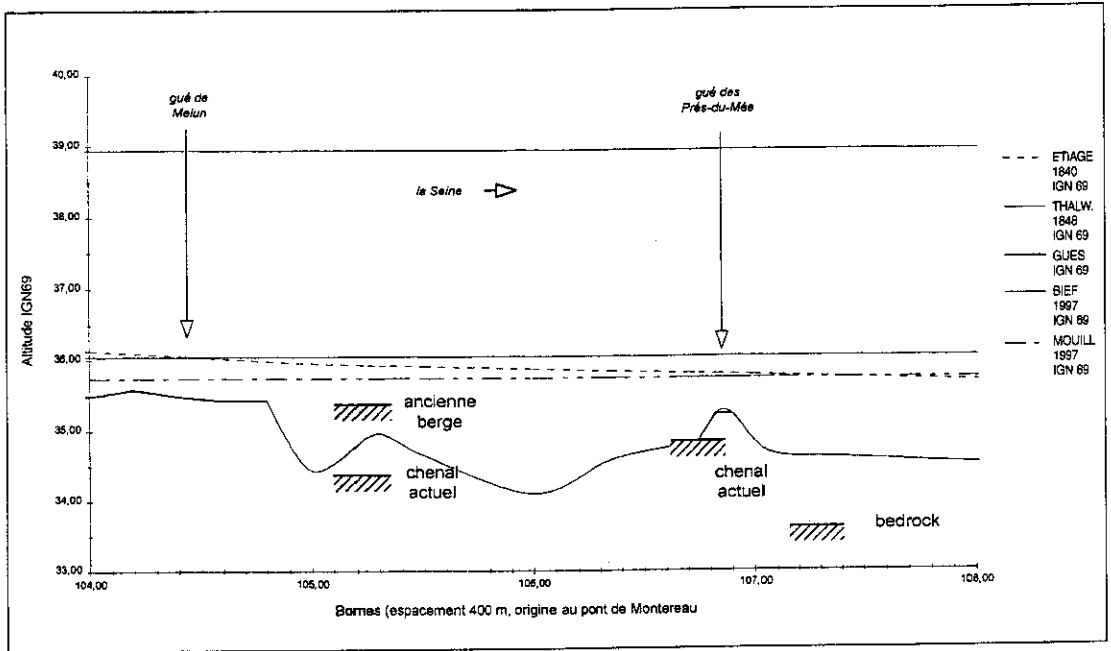


Fig. 3 : Analyse bathymétrique, la Seine au Mée (77) (réal. : GRAS).

- profondeur du thalweg 1849 sous le bief 1998 (F-B-C).

On peut aussi obtenir les représentations graphiques cotées facilement exploitables. Par exemple, pour visualiser la position du fond ancien sous le niveau de l'eau actuel, on tracera l'altitude du thalweg en 1849 et l'altitude du bief en 1998 (ordonnée) en fonction de la position longitudinale (abscisse) (fig. 2).

Des grossissements peuvent être opérés sur les deux axes pour rendre les lectures plus aisées.

Sur le profil global Montereau-Paris, on constatera immédiatement que le mouillage garanti actuel (3,2 m) interfère avec le thalweg de 1849 à l'aval des barrages et d'autant plus que l'on remonte vers l'amont de la rivière. Ceci signifie que la partie du lit existante en 1849, située sous moins de 3,2 m d'eau, a été draguée pour établir le chenal de navigation.

### Application

Chaque prospection va faire l'objet d'une préparation, suivie d'une analyse de corrélation profondeur théorique / profondeur réelle.

Pour cela, on trace un profil longitudinal couvrant le secteur prospecté, édité à l'échelle la plus lisible, représentant l'étiage de 1840, le thalweg en 1849, les gués éventuels, le niveau actuel du bief et le mouillage garanti actuel en fonction de la position longitudinale dans le système quadri-hectométrique.

Avant la plongée, le prospecteur notera les profondeurs caractéristiques (ancien thalweg, anciennes berges). Pendant la plongée, il connaîtra ainsi sa position relative à tout instant grâce à un profondimètre électronique (précision 1 dm) et notera la profondeur de points particuliers observés (bosses, fosses, indices archéologiques,...).

L'expérience montre que la résolution des mesures d'altitudes doit être le décimètre. En-dessous, les valeurs n'auraient pas de sens (le cailloutis de fond est souvent décimétrique) et au-dessus, on risquerait des erreurs d'interprétation des niveaux d'eau.

A l'issue de la plongée, on reportera les altitudes des points particuliers (obtenues en retranchant les profondeurs mesurées à l'altitude du plan d'eau du bief) pour interpréter.

Illustrons par le cas d'une prospection au Mée (77) en 1997. Entre les bornes de navigation 106B et 107, la profondeur est constante entre 4,3 et 4,4 m. Le fond est très plat et le sédiment intact comme le montre son aspect. L'utilisation du profondimètre électronique a mis en évidence un relief plat et composé de pierres décimétriques, large d'une dizaine de mètres, qui traverse le lit en biais à une profondeur de 3,9 m. Au niveau de l'extrémité de l'île de Melun, des pieux bordent une terrasse sous 3,4 m d'eau, à 40 m de la rive droite. En moyenne, la base des pieux est à - 3,5 m et le chenal à - 4,7 m.

Les mesures altimétriques sont présentées sur la figure 3. Les courbes de base représentent notamment le gué des *Prés-du-Mée* signalé sur la carte de la Seine de 1849. On y a superposé le fond actuel mesuré au profondimètre entre les bornes 106B et 107 et le fond au niveau des pieux.

On constate qu'il y a une corrélation remarquable avec le profil du gué à quelques décimètres près. Le relief repéré correspond donc très probablement au gué des *Prés-du-Mée*.

Au niveau des pieux, au large, il y a apparemment surcreusement de l'ordre de 70 cm confirmé par le fond, couvert de pierres décimétriques abandonnées par l'érosion. En revanche, la terrasse et la base des pieux sont proches du niveau d'étiage ancien (50 à 60 cm en dessous), différence qui peut s'expliquer par la disparition du ter-

rain superficiel par érosion après canalisation. L'hypothèse d'une ancienne berge submergée est également probable.

L'analyse altimétrique montre donc que la partie du lit de la Seine explorée ne semble pas avoir subi de grands dommages par rapport à l'état avant canalisation et dragages et est, par conséquent, archéologiquement intéressante.

On pourrait se contenter des mesures ponctuelles faites par un plongeur à partir du fond. Mais nous n'aurions qu'une faible quantité d'informations et de plus, mal positionnées en planimétrie.

Nous avons donc là un très bon outil de préparation et d'interprétation des prospections mais qui peut être encore plus efficace s'il est combiné avec une cartographie bathymétrique préalable.

### **Cartographie bathymétrique**

L'objectif de cette technique est d'obtenir rapidement une représentation graphique globale d'une portion du lit de la rivière, notamment sous forme d'un ensemble d'isobathes dont l'analyse permettra de repérer des anomalies topographiques révélatrices de vestiges archéologiques.

Le principe est également applicable à l'exploration d'un plan d'eau quelconque (lac, mer,...), à condition d'être suffisamment en vue de la rive qui servira au repérage.

Il s'agit donc de mesurer la profondeur sous un niveau de référence, en des points positionnés dans le plan horizontal puis de traiter ces informations pour aboutir à des représentations graphiques exploitables. Le processus complet comprend trois phases :

- préparation,
- acquisition numérique de profils transversaux en respectant simultanément un cheminement (système embarqué),
- traitement des données et restitution (système de traitement à terre).



Une phase complémentaire constitue l'interprétation. Seules les trois premières phases sont présentées ici (fig. 4).

En premier lieu, il convient de disposer d'une carte récente de la rivière à une échelle exploitable et que l'on pourra éventuellement agrandir localement.

Lorsque la zone à étudier est définie, on implante un système de repérage sur chacune des deux berges. Il s'agit de deux lignes inextensibles de 100 m de longueur munies de flotteurs numérotés tous les 10 m. Ces lignes latérales sont tendues en ligne droite sur l'eau, chacune entre deux piquets qui seront topographiés et reportés précisément sur la carte de la rivière et à une distance de la berge telle que la hauteur d'eau sous elles soit compatible avec le tirant d'eau du bateau sondeur.

En principe, on dispose les lignes longitudinalement afin que la droite joignant deux flotteurs de même numéro soit perpendiculaire à l'axe de la rivière. Cependant, on peut

avoir avantage à décaler la ligne d'arrivée vers l'amont afin que le cheminement se fasse contre une composante du courant, ce qui facilite la maîtrise de la trajectoire du bateau.

Les lignes pourront être brisées si nécessaire. Dans ce cas, les points de brisures seront topographiés comme les extrémités. Pour prolonger la zone de mesure, il suffira de déplacer les lignes en conservant une des extrémités pour servir d'origine à la zone suivante. Les repères peuvent également être matérialisés par des signes réalisés avec une bombe de peinture fluorescente sur des surfaces telles des parois de quais parfaitement identifiables sur les cartes.

La chaîne d'acquisition, embarquée sur un bateau motorisé conduit par un pilote, est manipulée par un opérateur. Elle est constituée :

- d'un transducteur à ultra-sons conditionné par un module électronique (développé par

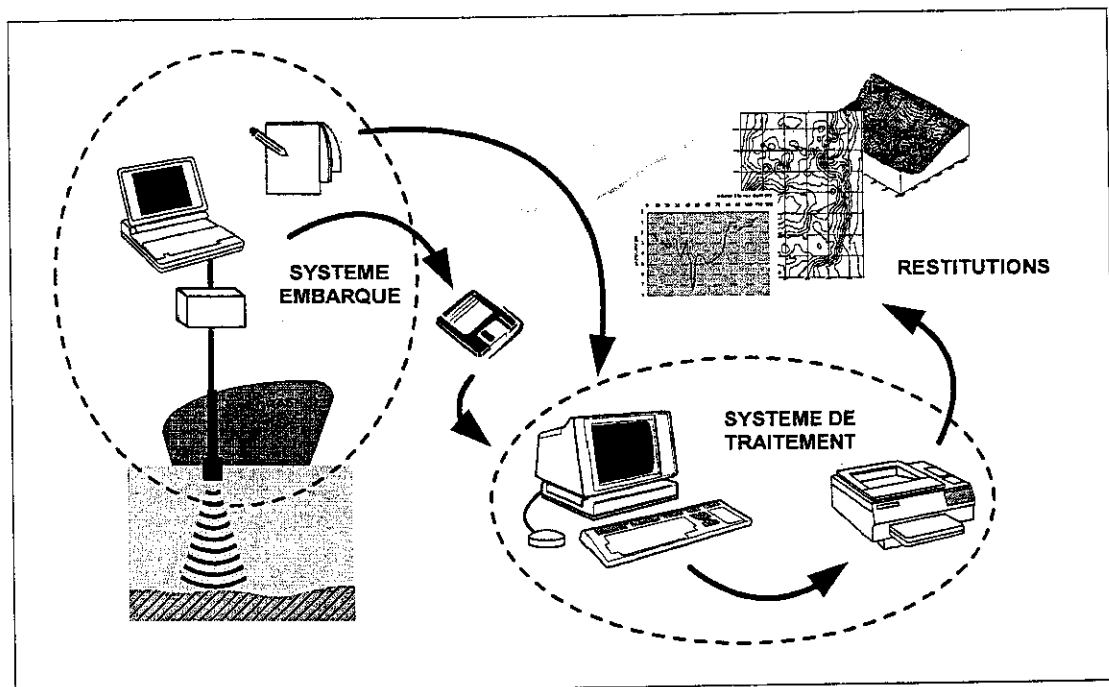


Fig. 4 : Synoptique du système bathymétrique (réal. : GRAS).



Fig. 5 : Installation de mesure bathymétrique (cliché : GRAS).

nous-mêmes). Cet ensemble assure l'émission et la réception des signaux ultrasonores sur commande de l'ordinateur, la mesure de la profondeur par comptage du temps aller/retour du signal ultrasonore et le codage de la valeur de la profondeur pour sa prise en compte par l'ordinateur.

- d'un micro-ordinateur portable muni d'un logiciel spécifique qui permet : la prise en compte de la valeur de la profondeur - le choix des paramètres d'acquisition, d'identification et de représentation à l'écran (cadence, échelle de profondeur, échelle de distance, sens d'avance, dénomination du profil,...) - de commander le départ et l'arrêt de l'acquisition - l'inscription de tops de repérage - l'enregistrement d'un profil et la réinitialisation pour une nouvelle acquisition - l'affichage en temps réel, à l'écran du profil en cours d'acquisition - l'enregistrement des profils et des paramètres sur une disquette informatique standard 3.5" - la relecture d'un profil pour contrôle.

- du plan de cheminement sur lequel sont notées, pour mémoire, des informations relatives aux différents profils au cours de leur acquisition (minutes). Ce principe, *a priori* trivial, est plus rapide et plus souple

donc plus pratique que l'introduction directe dans l'ordinateur.

La particularité du système est que seul le premier écho parvenant au transducteur est pris en compte. On évite ainsi la ligne de fond « baveuse » et imprécise obtenue par les sondeurs du commerce (fig. 5).

Chaque mesure de profondeur doit être positionnée dans le plan constitué par la surface de l'eau.

La méthode retenue consiste à imposer au transducteur une trajectoire en ligne droite à vitesse constante pendant l'acquisition d'un profil. Le bateau est piloté en ligne droite, transversalement à l'axe de la rivière, entre deux des flotteurs (de même numéro) de chacune des lignes de 100 m latérales. On peut ainsi réaliser onze profils sensiblement parallèles.

Le déplacement en ligne droite est assuré par des instructions de guidage transmises par radio au pilote par un directeur posté au niveau d'un flotteur qui vérifie que le bateau reste sur l'axe matérialisé par les deux flotteurs. Le bateau part de la berge opposée, au niveau du flotteur, et vient vers le directeur. L'écart latéral maximum

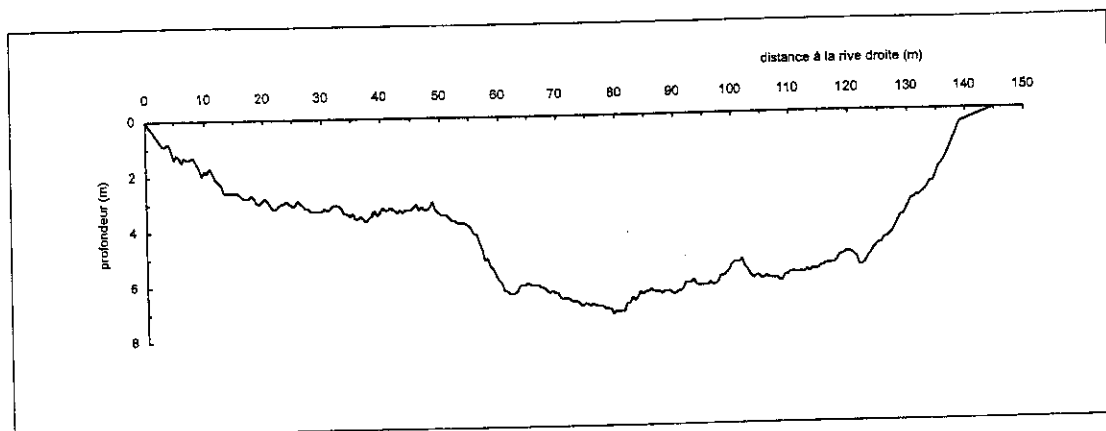


Fig. 6 : Profil en travers, la Seine à Corbeil-Essonnes (91) (réal. : GRAS).

constaté, dû à la dérive provoquée par le courant et aux corrections du pilote, est inférieur à 1 m sur une distance de 100 m, ce qui est parfaitement admissible.

L'acquisition des mesures de profondeur n'est déclenchée qu'à une distance connue du flotteur de départ et arrêtée également avant l'arrivée au niveau du flotteur d'arrivée (les deux distances sont notées sur les minutes). En effet, l'utilisation d'un moteur impose un tirant d'eau minimum qui peut être insuffisant si le mouillage au niveau des flotteurs est faible ; ensuite, le bateau doit avoir atteint la vitesse qu'il conservera pendant la traversée au départ de l'acquisition et enfin l'arrêt du bateau doit se faire avant de couper la ligne d'arrivée et en tout cas pour éviter une collision avec la berge.

Le traitement des données bathymétriques numériques nécessite l'attribution de coordonnées X-Y-Z dans un système orthonormé à chacune des mesures de profondeur. Connaissant les points de départ et d'arrêt de l'acquisition du profil, donc leur distance et le nombre d'acquisition faites entre ces deux points et sachant que la vitesse de déplacement a été constante, on en déduit la position linéaire correspondant à chaque acquisition de mesure de profondeur. A ce niveau, on peut produire des profils transversaux qui sont éventuellement

corrigés des aberrations possibles (faux échos, échos sur algues près des berges).

On choisit ensuite un système de coordonnées X-Y orthonormé en prenant, par exemple, l'une des deux lignes latérales comme axe X. Connaissant la position de la trajectoire de chaque profil, on peut convertir la coordonnée linéaire de chaque point de mesure en coordonnées X-Y. La coordonnée Z est disponible directement dans l'enregistrement informatique de chaque profil, exprimée en mètre sous la surface.

Les données sont transférées dans un logiciel tableur où des traitements numériques sont effectués pour aboutir à un fichier contenant les coordonnées X-Y-Z de chacun des points des profils. La profondeur peut être convertie en altitude NGF ou IGN69 si l'on connaît l'altitude du plan d'eau.

Le logiciel tableur produit des représentations graphiques des profils avec des échelles graduées et possibilité de commentaires (fig. 6). Ces représentations peuvent être dilatées ou comprimées dans les deux dimensions pour faciliter leur interprétation.

Les données du fichier peuvent être également traitées par un logiciel spécialisé dans la production de représentations isobathymétriques (en couleur éventuellement)

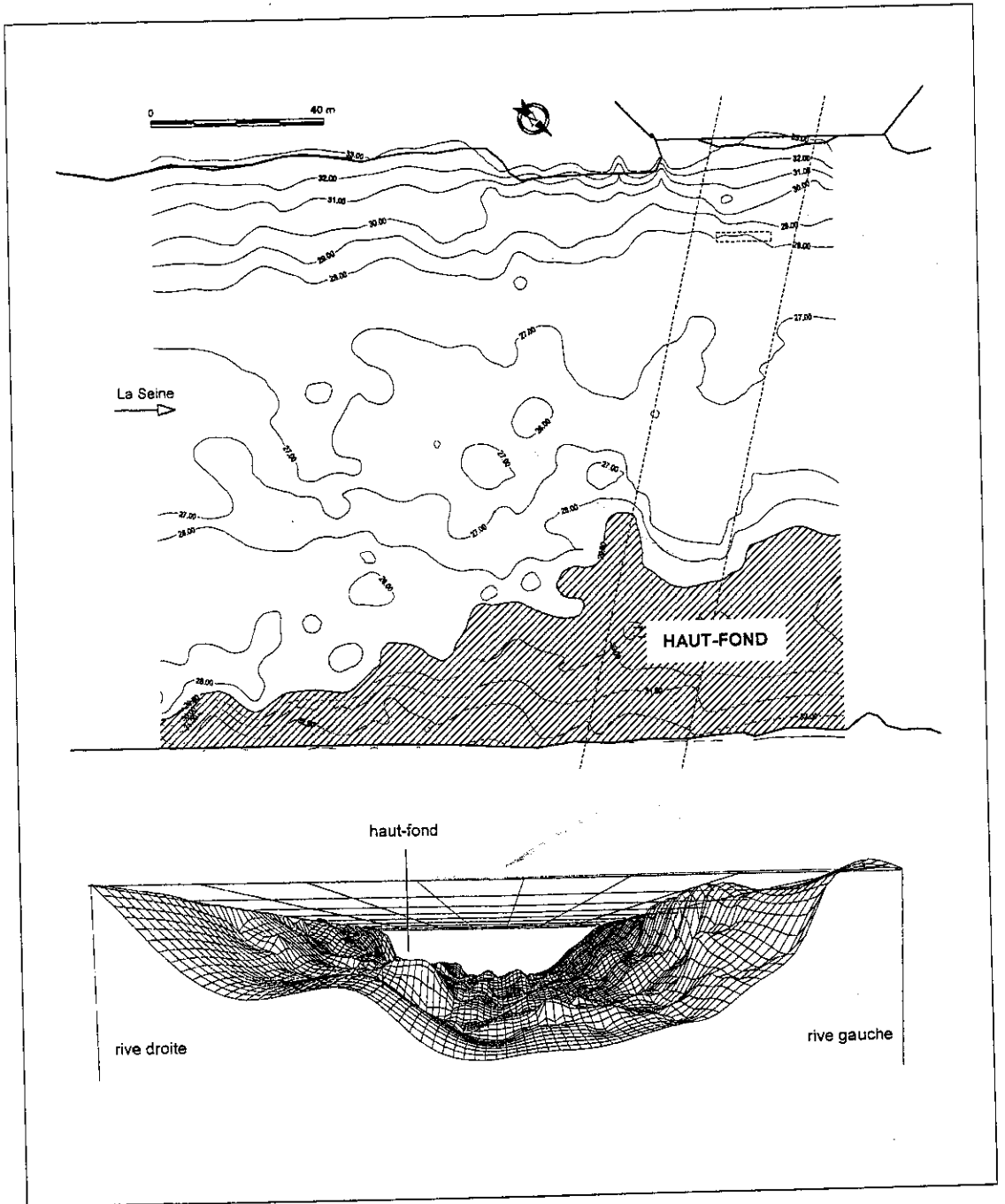


Fig. 7 : La Seine à Corbeil-Essonnes (91). Carte isobathymétrique et vue tridimensionnelle (échelle verticale exagérée) obtenues à partir de 14 profils transversaux espacés de 10 m, révélant la présence d'un haut-fond en rive droite. Opération préalable à l'élargissement du pont de la Francilienne (1997) (réal. : GRAS).

et tridimensionnelles (fig. 7). Les cheminements peuvent également être représentés par ce logiciel.

Si la bathymétrie rend compte rapidement du relief sous-fluvial (environ 3 heures par hectare, traitement informatique compris), elle n'a pas la prétention de se substituer à la prospection à vue car elle ne montre que les reliefs de grande amplitude. Les deux méthodes sont parfaitement complémentaires si on les applique simultanément.

### Géomorphologie sommaire

On peut encore améliorer le diagnostic en observant les caractéristiques des sédiments (granulométrie, compacité) qui constituent un bon indicateur permettant d'estimer la nature, intègre ou bouleversée, des fonds parcourus en prospection. Il est ainsi possible de distinguer les zones stériles (draguées) des autres qui peuvent présenter un intérêt archéologique.

Actuellement nous remarquons huit types de faciès présents dans le lit de la rivière (fig. 8). Les cinq premiers vous ont déjà été présentés à la précédente journée

archéologique (Bonnin 1998 : 82-83) et je ne ferai que le rappeler :

- *gravier compact* : constitué de sédiments anciens immobilisés par mise hors action du courant de la rivière, ce type de terrain est potentiellement archéologique.
- *gravier, sable fluide* : issu de bancs en cours de déplacement ou de matériau de comblement d'un trou naturel ou de dragage, ce type de terrain est archéologiquement stérile mais peut livrer des objets « roulés ».
- *amas de pierres* : il s'agit visiblement du résultat d'actions humaines qui pourraient avoir plusieurs origines (Bonnin 1998 : 82).
- *falaize* : il s'agit de concrétions calcaires d'origine biologique, également appelées tuf ou travertin, se présentant en bancs plus ou moins épais (jusqu'à 1 m) et souvent érodés. Ces formations semblent avoir pris de l'ampleur au Moyen-Âge et sont même encore actives. Elles scellent les couches inférieures et garantissent leur intégrité. Nous en avons rencontré à Fontaine-le-Port, Melun, Nandy, Seine-Port et Etiolles souvent en corrélation avec des pieux médiévaux.

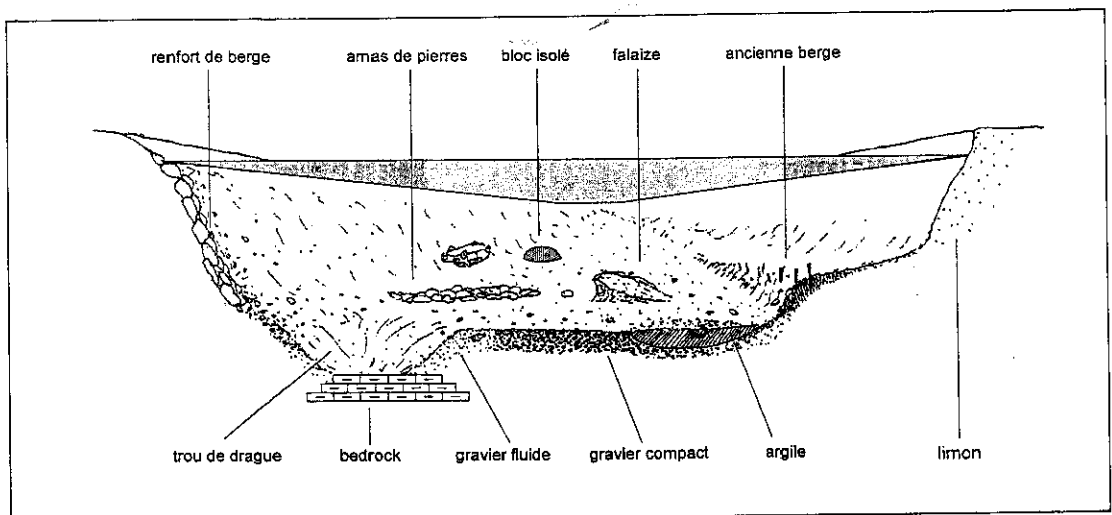


Fig. 8 : Les différents faciès géomorphologiques du lit de la Haute-Seine (réal. : GRAS).

• *argile* : appelé ainsi uniquement par analogie avec la consistance du matériau (plastique et de couleur grise), ni vraiment une tourbe ni une vase (relativement molle), les inclusions organiques diverses, plus ou moins nombreuses suivant les couches, montrent qu'il s'agirait plutôt de dépôts d'alluvions en eau stagnante plastifiés avec le temps.

• *limon* : les limons sont des matériaux minéraux fins déposés lors des variations de niveau de l'eau. Ils sont homogènes et déposés en strates séparées par des lits de matériaux plus grossiers. On les rencontre sur les berges. Ils peuvent renfermer des objets flottés.

• *blocs isolés* : il s'agit de blocs de grès arrondis de grandes dimensions (jusqu'à plusieurs mètres), transportés et déposés par la rivière lors des périodes glaciaires.

• *bedrock* : c'est le sol géologique dur sous-jacent aux alluvions de la rivière, parfois affleurant, essentiellement en calcaire tertiaire en Haute-Seine.

## CONCLUSION - PERSPECTIVES

Grâce à l'exploitation des ressources archivistiques et à une analyse des données topographiques qu'elles apportent, la panoplie des moyens de recherche archéologique en rivières s'enrichit de nouvelles méthodes qui, appliquées sur la Haute-Seine augmentent de façon sensible l'efficacité des prospections.

La consultation de la documentation disponible demande beaucoup de temps mais

reste rentable. En plus de l'élaboration d'un outil de travail sur le terrain, ces études enrichissent la connaissance de l'évolution du niveau de la Seine dans l'espace et le temps et par là, peuvent aussi contribuer à des recherches à caractère archéologique (en milieu émergé), d'ordre historique et économique.

Philippe BONNIN  
Président du GRAS

## Bibliographie

**Bonnin 1998** : BONNIN (Ph.) - « Archéologie de la Haute-Seine », *Archéologie en Essonne, Actes de la journée archéologique de Dourdan, 25 novembre 1995*, Paris/Argenton-sur-Creuse, 1998, p. 76-84.

**Chanoine, Delagrene 1868** : CHANOINE, DELAGRENE - « Mémoire sur la construction des douze barrages éclusés exécutés sur la Haute-Seine entre Paris et Montereau » - *Annales des ponts et chaussées*, Dunod, Paris, 1868, p. 366-469.

*Cours de la Seine de Montereau à Paris* - Archives Nationales.

**Verdier de Pennery 1959** : VERDIER DE PENNERY (P.) - « Les gués de la Seine et de l'Yonne » - *Bulletin de la SPF*, t. 51, 11/12, 1959, p. 731- 748.

*Chenal de la Haute-Seine, échelle 1/5000 - 1970-1971*, Service de la Navigation de la Seine.